

# İVRİNDİ FLOTASYON TESİSİNDE ZENGİNLEŞTİRİLEN CEVHERİN ÖĞÜTME SÜRESİNİN OPTİMİZASYONU

## GRINDING TIME OPTIMIZATION OF İVRİNDİ FLOTATION PLANT ORE

A.Ekrem YÜCE<sup>1</sup>, Engin BAŞER<sup>2</sup>, Besim ERTEM<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> İTÜ Maden Fakültesi, Cevher-Kömür Hazırlama A.B.Dalı, 34469, Maslak / İSTANBUL

<sup>(2)</sup> Gesom Madencilik Sanayi ve Tic.A.Ş, İvrindi / BALIKESİR

**ÖZ:** Bu çalışmada, İvrindi Flotasyon Tesisinde zenginleştirilen kompleks sülfürlü cevherden alınan temsili numuneler üzerinde laboratuvar ölçekli öğütme testleri yapılarak, serbestleşme açısından en uygun öğütme süresi saptanmıştır. Öğütme optimizasyonuna yönelik çalışmaların yanı sıra, söz konusu kompleks cevherin standart Bond Değirmeninde iş (öğütme) indeksi de belirlenmiştir. Çalışmalarda, 15, 22,5, 30, 45 dakikalık öğütme ve takiben sülfür flotasyon deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar ölçekte farklı öğütme süreleri sonrası yapılan flotasyon deneyleri sonuçlarına göre, atılan artığın metal içerikleri açısından uygun bir öğütmenin, 22.5 dakikalık bir sürede gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu verilerden hareketle, tesis koşullarında % 90, 100 mikron altına öğütme koşulunu gerçekleyecek ve aynı zamanda şlam oluşumunu azaltacak şekilde, laboratuvar ölçekte kademeli öğütme yapılmıştır. Öğütmeyi takiben yapılan flotasyon testleri birlikte değerlendirildiğinde, gerek yeterli serbestleşme boyutu ve gerekse atılan artıklardaki kabul edilebilir metal kayıpları açısından uygun öğütme için 17.5 dakikalık bir sürenin yeterli olduğu belirlenmiştir. İvrindi tesis cevherinin öğütme optimizasyonuna yönelik testlerden, laboratuvar ölçekte belirlenen optimum öğütme süresinin, tesis bazında uygulanan öğütme süresine göre yaklaşık % 20 daha kısa olduğu saptanmıştır. Bu sonucun; tesis bazında öğütme-klasifikasyon devresinde uygulanması ve öğütme parametrelerinin gözden geçirilmesi ile öğütme devresinde önemli bir iyileştirme ve enerji tasarrufu sağlanabilmesi olanaklı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Baz metaller, Öğütme, Bond öğütülebilirlik indeksi

**ABSTRACT:** In this research, optimum grinding time was determined on base metal ores which was taken from İvrindi flotation plant. In the light of plant data, laboratory scale grinding at different times, following flotation tests were carried out to determine optimum liberation size of valuable minerals. Laboratory scale bench grinding time was chosen between 15 and 45 minutes. Bulk flotations under the constant parameters were realized on ground materials. Results were evaluated in terms of metal constitutes of flotation tailings. Optimal grinding time was obtained at the end of 22.5 minutes, while 17.5 minutes can provide same results applying close grinding circuit. According to the lab scale grinding parameters, 20% grinding time saving can be achieved comparing with plant data. Furthermore significant energy saving and capacity increases in the grinding operation can be obtained due to the optimization of grinding – classification circuit in the plant.

**Key Words:** Base metals, Grinding, Bond grindability index

### 1. GİRİŞ

Demir dışı metaller içinde alüminyumdan sonra gelen en önemli beş metalin üçünü oluşturan kurşun, çinko ve bakır metalleri, sanayide büyük kullanım alanları bulmaları dolayısıyla istikrarlı bir üretim çizgisine sahip olan hammaddelerdir. Türkiye'nin Dünya baz metal rezervleri içinde, toplam rezervler bazında Cu-Pb-Zn cevherleşmelerinin yaklaşık %6,7'sine sahip olduğu göz önüne alındığında, baz metal cevherleşmesi ve üretimleri açısından ülkemiz için önemli bir kaynak olduğu görülmektedir (Yüce,

1999, Güney, 1999, Sirkeci, 1999; DPT 8. Beş Yıllık Plan, MTA 1993, Yüce ve Önal, 2002).

Kurşun-çinko-bakır metallerinin hammadde kaynağını oluşturan cevherleşmeler içinde, galen (PbS), sfalerit (ZnS) ve kalkopirit (CuFeS<sub>2</sub>) formlarındaki sülfürlü mineraller çeşitli tipteki baz metal cevherleşmelerinde en önemli mineraller olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada ve ülkemizde genel olarak flotasyon yöntemiyle zenginleştirilen kompleks Pb-Zn-Cu minerallerine, iri boyutta serbestleşme mümkünse, gravite ile ön zenginleştirme de

uygulanabilmektedir. (Atak, 1981, Kaya 1991, Gül 2001), Ancak, özellikle ülkemizde, var olan zenginleştirme tesislerinde gerek teknolojik eksiklikler, gerekse kompleks cevher yapısı nedeniyle metal kazanımında sorunlar yaşanmaktadır.

Kompleks yapılı baz metal minerallerinin gerek kendi aralarında ve gerekse gang mineralleri ile olan serbestleşme dereceleri, cevher oluşumlarına bağlıdır. Bu özellik cevher tipleri açısından önemli farklılıklar içermektedir. Bu yüzden kompleks yapılı sülfürlü cevherlerin zenginleştirme işlemleri öncesi boyut küçültme kademelerinin çok iyi seçilmesi ve denetlenmesi gerekmektedir. Bu araştırmada, İvrindi Flotasyon Tesisine beslenen kompleks sülfürlü cevherin laboratuvar ölçeğe optimum öğütme süresi incelenmiştir. Halihazırda öğütme süresi 20-22 dakika olan tesisten atılan artıktaki metal kaybı sorununun, öğütme süresinin optimize edilmesi yoluyla çözümü için laboratuvar ölçeğe veriler üretilmiştir. Temsili örneklerle farklı sürelerde öğütme ve takiben tesis koşullarına uygun olarak flotasyon ile zenginleştirme yapılmış, artıktaki metal içerikleri ve kayıpları değerlendirilerek optimum öğütme süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Başer, 2003). Öğütme optimizasyonu çalışmalarının yanı sıra, tesis bazında enerji tüketimine dönük hesaplamalarda yararlanılmak üzere, tesise beslenen temsili örneğin Standard Bond Değirmeni'nde iş ( öğütme) indeksi saptanmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

Deneylerde kullanılan cevher, Çanakkale-Yenice-Arapuçandere madeninde üretilen Pb-Cu-Zn kompleks cevheridir. Numune, İvrindi Flotasyon Tesisi öğütme devresi bunkerinden alınmıştır. Numune azaltma yöntemleri ile, elek analizi ve tuvenan kimyasal analiz için ayrılan numunenin geri kalanı laboratuvar kademeli kırma işleminden geçirilerek öğütme öncesi tamamı 2 mm altına indirilmiştir. Tuvenan cevher ve -2 mm'ye kırılmış malzemenin boyut dağılımları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Sonuçlara göre, tesiste öğütme devresine beslenen cevherin  $d_{80}$  boyutu 17 mm, laboratuvar tipi öğütme için 2 mm altına kırılmış cevherin  $d_{80}$  boyutu ise 1.6 mm olmaktadır.

Deneylerde kullanılan cevher numunesinden temsili olarak ayrılan bir bölüm üzerinde kimyasal analizler yapılarak, kimyasal bileşimi belirlenmiştir. Analizlere göre numune, % 7,16 Pb, % 1,17 Cu, % 4,28 Zn, % 47,85 SiO<sub>2</sub> ve % 39,54 oranında CaO, MgO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi diğer gang minerallerini içermektedir.

Mineralojik incelemelere göre; cevher bileşimindeki sülfürlü minerallerin büyük bir çoğunluğunu galen, sfalerit ve pirit teşkil etmekte ayrıca kalkopirit, marmatit, markasit, hematit, götit ve spekül-

rit mineralleri ile birlikte kuvars ve kalsit yaygın gang minerallerini oluşturmaktadır.

Sülfürlü mineraller; genellikle yan kayaç içinde tektonik deformasyon sonucu oluşan kırık ve çatlaklarda kuvars ile kenetli bir biçimde damar dolgusu şeklinde izlenmekte ve cevher bileşiminin yaklaşık olarak % 19'nu oluşturmaktadır. Mikroskop ölçümlerinde; kıymetli cevher mineralleri olarak galen'in 5 ile 1400 mikron, sfalerit'in 4 ile 650 mikron, kalkopirit'in ise 8 ile 950 mikron boyutları arasında değiştiği saptanmıştır.

### 2.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında, tamamı 2 mm altına kırılmış temsili örnekler üzerinde, laboratuvar tipi bilyalı değirmen kullanılarak farklı sürelerde öğütme testleri yapılmış, her öğütme sonrası alınan örneklerle, aynı standart koşullarda sülfür flotasyonu uygulanmıştır. Uygun öğütme koşulunu belirlemeye dönük değerlendirmeler, nihai flotasyon artıklarının metal içerikleri ve metal kayıpları açısından yapılmıştır. Ayrıca tesis bazında değirmen-klasifikatör kapalı devre çalışma koşullarına uygun şartları sağlamak ve şlam oluşumunu da önlemek amacıyla, kademeli öğütme testleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Öğütme süresi optimizasyonu çalışmalarına ilave olarak, mevcut cevherin iş indeksi değeri bulunmuştur.

**Çizelge 1:** Kırılmış Tuvenan Cevher Boyut Dağılımı  
**Table 1:** Size Distribution of Crushed Run-of mine Ore

Boyut aralığı -mm-	Miktar -%-	Σ EÜ -%-	Σ EA -%-
+19	1,39	1,39	100
-19 +13	27,76	29,15	98,61
-13 +9	24,33	53,49	70,85
-9 +6	10,52	64,01	46,51
-6 +3.35	9,13	73,13	35,99
-3.35 +1.18	11,28	84,41	26,87
-1.18 +0.5	5,58	89,99	15,59
-0.5 + 0.3	3,04	93,03	10,01
-0.3	6,97	100,00	6,97
TOPLAM	100,00		
$d_{50}$		9 mm	
$d_{80}$		17 mm	

**Çizelge 2:** 2 mm Altına Kırılmış Cevherin Boyut Dağılımı  
**Table 2:** Size Distribution of Minus 2 mm Ore

Boyut aralığı -mm-	Miktar -%-	Σ EÜ -%-	Σ EA -%-
-2 +1.70	11,48	11,48	100
-1.70 +1.18	19,39	30,87	88,52
-1.18 +0.841	4,08	34,95	69,13
-0.841 +0.5	23,98	58,93	65,05
-0.5 +0.3	13,27	72,19	41,07
-0.3+0.180	9,69	81,89	27,81
-0.180+0.105	7,14	89,03	18,11
-0.105+0.053	5,10	94,13	10,97
-0,053	5,87	100,00	5,87
TOPLAM	100,00		
d <sub>50</sub>	0,6 mm		
d <sub>80</sub>	1,6 mm		

### 3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Standart Bond İş İndeksi Testi

Bond iş indeksini saptamak amacıyla 30,5 x 30,5 boyutlarında Standart Bond Değirmeni kullanılmıştır. Değirmenin dönüş hızı 70 d/d olup test için kullanılan öğütücü ortam (bilye) ağırlığı 20,125 kg'dır. Bilye kompozisyonu ve sayısı Çizelge 3'te verilmektedir.

**Çizelge 3:** Bond Değirmeni Testinde Kullanılan Bilyaların Boyut Dağılımı

**Table 3:** Ball Size Distribution of Bond Mill

Bilye Çapı (mm)	Bilye Sayısı
44,45	43
29,72	67
25,40	10
19,05	71
15,50	94

Standart Bond Değirmen testine göre elde edilen verilerden hareketle aşağıdaki formül kullanılarak cevhere ait iş indeksi değeri belirlenmiştir. Temsili örnek üzerinde yapılan standart test sonuçları Çizelge 4'te verilmektedir.

$$W_i = 44.5 / P_i^{0.23} \times G^{0.82} \times (10/\sqrt{P} - 10/\sqrt{F})$$

$G$  = Öğütülebilirlik, gr/devir

$P_i$  = Deneysel elek açıklığı,  $\mu\text{m}$

$P$  = Öğütme sonu elde edilen ürünün  $d_{80}$  boyutu,  $\mu\text{m}$   
( $G$  değerinin yakın olduğu üç öğütme sonunda

elde edilen  $-150 \mu\text{m}$  malzemenin elek analizinden bulunur)

$F$  = Deneysel beslenen  $-3,36 \text{ mm}$  altı malzemenin  $d_{80}$  boyutu,  $\mu\text{m}$

İvrindi flotasyon tesisi cevherine ait hesaplanan iş indeksi değeri aşağıda verilmiştir.

$G=1,324 \text{ gr/devir};$

$P_i=150 \mu\text{m}$

$P=115 \mu\text{m}$

$F=2200 \mu\text{m}$

$$W_i = 44.5 / P_i^{0.23} \times G^{0.82} \times (10/\sqrt{P} - 10/\sqrt{F})$$

$$W_i = 15.53 \text{ kWh/st}$$

**Çizelge 4:** Bond İş indeksi Deneyi Sonuçları

**Table 4:** Bond Grindability Index Test Results

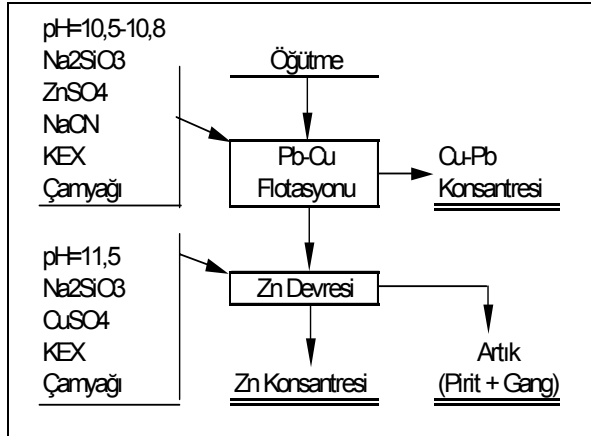
Devir sayısı -R-	-150 $\mu\text{m}$ miktarı-g -P <sub>B</sub> -	Besleme miktarı-g -F <sub>B</sub> -	P <sub>B</sub> - F <sub>B</sub>	Öğütülebilirlik P <sub>B</sub> -F <sub>B</sub> /R -G-
153	310	161.98	148.02	0.9674
279	350	40.00	310.00	1.111
283	375	45.15	329.85	1.165
267	385	48.37	336.63	1.260
246	365	49.66	315.34	1.281
243	405	47.08	357.92	1.472
209	350	52.24	297.76	1.424
221	340	45.15	294.85	<b>1.334</b>
236	355	43.86	311.14	<b>1.318</b>
238	360	45.79	314.21	<b>1.320</b>

#### 3.2. Öğütme ve Flotasyon Testleri

Deneysel çalışmalarda, kırıcı sonrası bunker çıkışından alınan ve laboratuvarında tamamı 2 mm altına kırılmış olan numuneler ile laboratuvar tipi bilyalı değirmen kullanılarak, sabit % 65 pülp te katı oranı ve % 45 bilye şarjında farklı sürelerde öğütmeler yapılmış, öğütme sonrası alınan malzemelere ise standart koşullarda sülfür flotasyonu uygulanmıştır. Laboratuvar ölçekte en uygun öğütme koşulunu belirlemeye yönelik çalışmalarda nihai değerlendirmeler; gerek öğütme sonrası malzemenin boyut dağılımı ve gerekse öğütmeyi takiben yapılan flotasyon deneylerinden elde edilen flotasyon artıklarındaki metal içerik ve kayıpları açısından yapılmıştır.

Farklı öğütme süreleri sonrasında tesis koşullarına uygun olarak yapılan flotasyon deneyleri basitleştirilmiş akım şeması Şekil 1'de, deneylerde kullanılan reaktif miktarları ise Çizelge 5'de verilmiştir.

15, 30 ve 45 dakikalık öğütmeler sonrasında yapılan boyut dağılımı analiz sonuçları ve her bir numuneye ait  $d_{50}$  ve  $d_{80}$  boyutları, sırasıyla Çizelge 6, 7 ve 8'de verilmektedir. Flotasyon deneylerinden elde edilen konsantreler ve artığa ait Pb, Cu ve Zn içerikleri ise toplu olarak Çizelge 9'da verilmiştir.



**Şekil 1:** Flotasyon Deneyleri Akım Şeması  
**Figure 1:** Flow sheet for Flotation Tests

**Çizelge 5:** Flotasyonda Kullanılan Reaktif Tipi ve Miktarları  
**Table 5:** Reagent Type and Consumptions on Flotation

Flotasyon Koşulları – Reaktif Miktarı	Pb-Cu Toplu Flotasyonu	Zn Flotasyonu
pH (Kireç ile)	10,5-10,8	11,5
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> - g/t -	1000+250+250	500
ZnSO <sub>4</sub> - g/t -	1000+300+100	---
NaCN - g/t -	10+5	5
CuSO <sub>4</sub> - g/t -	---	1000+500+250
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - g/t -	---	50+50
KEX - g/t	50+25+25	50+25+25
Çamyacı - g/t	5+5+0	5+5+0
Kıvam süresi - dak.	15	15
Flotasyon süresi - dak-	3+2+2	3+2+2

15 dakikalık öğütme sonrasında numunenin d<sub>80</sub> boyutu 150 mikron olarak belirlenmiş olup, yapılan flotasyon deneyine göre atılan artığın kurşun, bakır ve çinko içerikleri sırasıyla; % 0,6 Pb; % 0,01 Cu ve % 1,25 Zn olmaktadır.

30 dakikalık öğütme sonrasında numunenin d<sub>80</sub> boyutu 70 mikron olarak belirlenmiş olup, yapılan flotasyon deneyine göre atılan artığın kurşun, bakır ve çinko içerikleri sırasıyla; % 0,63 Pb; % 0,1 Cu ve % 1,06 Zn olmaktadır.

45 dakikalık öğütme sonrasında ise numunenin d<sub>80</sub> boyutu 55 mikron olarak belirlenmiş olup, yapılan flotasyon deneyine göre atılan artığın kurşun, bakır ve çinko içerikleri sırasıyla; % 0,82 Pb; % 0,1 Cu ve % 1,31 Zn olmaktadır.

**Çizelge 6:** 15 dak. Öğütme Ait Boyut Dağılımı Sonuçları  
**Table 6:** Size Distribution of Sample for 15 Minutes Grinding Time

Boyut aralığı- $\mu\text{m}$ -	Miktar -%-	$\Sigma\text{E}\ddot{U}$ -%-	$\Sigma\text{EA}$ -%-
+212	4,83	4,83	100,00
-212+105	30,72	35,55	95,17
-105 +74	14,39	49,94	64,45
-74 +53	8,16	58,11	50,05
-53 +38	6,66	64,77	41,89
-38	35,23	100,00	35,23
Toplam	100,00		
d <sub>50</sub>		70	
d <sub>80</sub>		150	

**Çizelge 7:** 30 dak. Öğütme Ait Boyut Dağılımı Sonuçları  
**Table 7:** Size Distribution of Sample for 30 Minutes Grinding Time

Boyut aralığı- $\mu\text{m}$ -	Miktar -%-	$\Sigma\text{E}\ddot{U}$ -%-	$\Sigma\text{EA}$ -%-
+212	1,05	1,05	100,00
-212+105	8,18	9,23	98,95
-105 +74	9,44	18,68	90,77
-74 +53	16,37	35,05	81,32
-53 +38	8,92	43,97	64,95
-38	56,03	100,00	56,03
Toplam	100,00		
d <sub>50</sub>		---	
d <sub>80</sub>		70	

**Çizelge 8:** 45 dak. Öğütme Ait Boyut Dağılımı Sonuçları  
**Table 8:** Size Distribution of Sample for 45 Minutes Grinding Time

Boyut aralığı- $\mu\text{m}$ -	Miktar -%-	$\Sigma\text{E}\ddot{U}$ -%-	$\Sigma\text{EA}$ -%-
+105	1,83	1,83	100,00
-105 +74	3,75	5,58	98,17
-74 +53	17,56	23,14	94,42
-53 +38	7,30	30,44	76,88
-38	69,56	100,00	69,57
Toplam	100,00		
d <sub>50</sub>		---	
d <sub>80</sub>		55	

**Çizelge 9:** Farklı Öğütme Süreleri Sonrası Yapılan Flotasyon Deneyi Sonuçları**Table 9:** Flotation Test Results after Different Grinding Times

Öğütme süresi-dak.	Metal	Pb-Cu Toplu kons. -%-	Zn kons. -%-	Artık -%-
15	Pb	29,3	2,38	0,6
	Cu	5,32	0,56	<0,01
	Zn	6,57	38,68	1,25
30	Pb	34,6	2,99	0,63
	Cu	5,76	0,6	0,1
	Zn	6,76	24,16	1,06
45	Pb	24,62	1,99	0,82
	Cu	4,06	0,38	0,1
	Zn	5,37	26,77	1,31

Farklı sürelerde yapılan öğütme deneyleri sonrası malzemelere ait  $d_{80}$  boyutları ve gerçekleştirilen flotasyon sonuçlarına göre; en uygun öğütme süresinin 15 ile 30 dakika arasında olabileceği değerlendirilmiştir, bu iki süre arasında olmak üzere 22,5 dakika öğütme süreli bir deney daha gerçekleştirilmiştir. 22,5 dakikalık öğütme sonunda numunenin boyut dağılımı Çizelge 10'da, flotasyon deneyi sonuçlarına göre ürünlerin metal içerikleri ise Çizelge 11'de verilmektedir.

22,5 dakikalık öğütme sonrasında yapılan flotasyon deneyine göre atılan artığın kurşun, bakır ve çinko içerikleri sırasıyla % 0,35 Pb; % 0,16 Cu ve % 0,85 Zn olmaktadır.

**Çizelge 10:** 22,5 dak. Öğütmeye Ait Boyut Dağılımı Sonuçları**Table 10:** Size Distribution of Sample For 22,5 Minutes Grinding Time

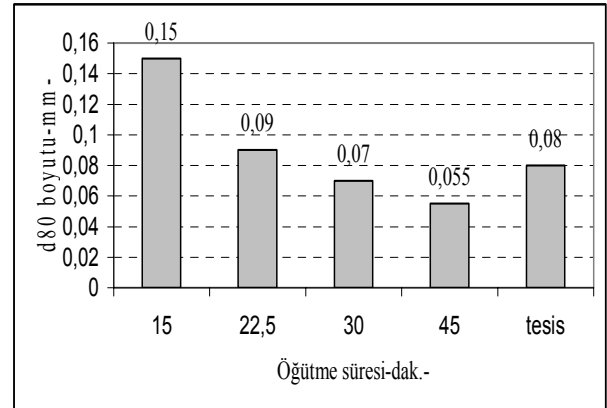
Boyut aralığı- $\mu\text{m}$ -	Miktar -%-	$\Sigma E\dot{U}$ - %-	$\Sigma EA$ -%-
+105	11,22	11,22	100,00
-105 +74	17,14	28,36	88,78
-74 +53	11,12	39,49	71,63
-53 +38	9,59	49,08	60,51
-38	50,92	100,00	50,92
Toplam	100,00		
$d_{50}$		35	
$d_{80}$		90	

**Çizelge 11:** 22,5 dak. Öğütme Sonrası Flotasyon Deneyi Sonuçları**Table 11:** Flotation Test Result after 22,5 Minutes Grinding Time

Öğütme süresi - dak.	Metal	Pb-Cu Toplu kons. -%-	Zn kons - %-	Artık -%-
22,5	Pb	36,34	2,08	0,35
	Cu	4,98	1,41	0,16
	Zn	5,34	36,26	0,85

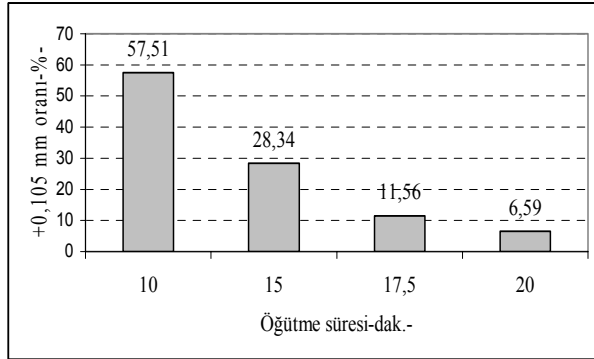
### 3.3. Kademeli Öğütme + Flotasyon

İvrindi flotasyon tesisinde mevcut değirmen-klasifikatör kapalı devresinde malzeme boyutu; flotasyon öncesi, yaklaşık % 90'ı 100 mikron altında olacak şekilde öğütülmektedir. Laboratuvar ölçekte farklı sürelerde yapılan öğütme sonucunda alınan numuneler ile tesiste yapılan öğütmeden elde edilen numunelerin  $d_{80}$  boyutları bazında bir değerlendirme Şekil 2'de verilmektedir. Değerler incelendiğinde tesiste öngörülen öğütme boyutu değerine, laboratuvar ölçekte yapılan 22,5 dakikalık bir öğütme sonunda ulaşılabildiği görülmektedir.

**Şekil 2:** Farklı Öğütme Süreleri İle  $d_{80}$  Boyutlarındaki Değişim**Figure 2:** Variation of  $d_{80}$  Size Fraction after Different Grinding Times

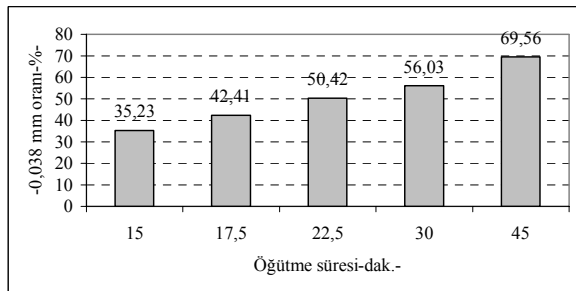
Bu bölüme kadar yapılan çalışmaların ışığında, öğütülen malzemenin tamamının hedeflenen bir boyut altına indirilmesi yanı sıra, cevheri oluşturan kıymetli minerallerin de çok fazla ince boyutlara geçerek flotasyon işleminde şlam sorunu oluşturmaması için kademeli bir öğütme gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde, tesis bazında uygulanan kademeli bir öğütme temsil edebilecek şekilde, kısa süreli öğütme sonucunda alınan malzemenin 0,105 mm boyutu üzerindeki oranları belirlenerek, elek üstünün tekrar öğütülmesiyle, malzemenin % 90 oranında bu boyut altına geçtiği süre

saptanmıştır. Kademeli öğütme sırasında 0,105 mm oranının değişimine ilişkin bir değerlendirme Şekil 3'te verilmektedir. Bu değerlere göre malzemenin yaklaşık % 90'ı 17,5 dakikalık kademeli bir öğütme sonunda 0,105 mm boyutu altına geçmektedir. Diğer yandan değişik öğütme süreleri ve kademeli öğütme sonrası alınan öğütülmüş malzemelerin -0,038 mm boyutu oranlarına ait bir değerlendirme ise Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 3:** Kademeli Öğütme Süresine Bağlı +0,105 mm Boyut Grubu Oranları

**Figure 3:** Ratio of +0,105 mm Size Fraction on Sequential Grinding Test



**Şekil 4:** Farklı Öğütme Sürelerinde -0,038 mm Boyut Grubu Oranları

**Figure 4:** Ratio of +0,038 mm Size Fraction on Different Grinding Times

Kademeli olarak gerçekleştirilen 17,5 dakikalık öğütmenin sonunda alınan numune ile yapılan flotasyon deneyinin sonuçları Çizelge 12'de verilmektedir. Flotasyon deneyi sonucunda artıktaki metal içerikleri % 0,13 Pb, % 0,04 Cu ve % 0,92 Zn olarak belirlenmiştir.

#### 4. İRDELEME

Kompleks yapıları cevherleşmenin bir özelliği olarak, öğütme işlemlerinde yeterli tane serbestleşmesi için kıymetli minerallerin (galen, kalkopirit, sfalerit) kendi aralarında ve gang mineralleri ile serbestleşme eğilimleri birbirinden farklı olmaktadır. Ana gang minerali olarak cevher yapısında önemli oranda bulunan silis'in öğünmeye aşırı direnci yanında, özellikle

galen'in gevrek yapıları olması, cevherin tümünün belirli bir boyut altına öğütülmesi sırasında istenmeyen şlam oluşumlarına neden olmakta, bunun sonucunda ise zenginleştirmede metal randımanlarında belirli oranlarda kayıplar oluşmaktadır. Bu tip cevherleşmelerde optimum serbestleşme boyutunu belirlemek ve tesis uygulamalarında öğütme devresinin iyi denetlenmesi önem taşımaktadır.

**Çizelge 12:** 17,5 dak. Öğütme Sonrası Flotasyon Deneyi Sonuçları

**Table 12:** Flotation Test Result after 17,5 Minutes Grinding Time

Öğütme süresi dak.	Metal	Pb-Cu Toplu kons. -&-	Zn kons. -%-	Artık -%-
17,5	Pb	30,86	2,35	0,13
	Cu	4,73	0,80	0,04
	Zn	3,76	21,95	0,92

Bu araştırma kapsamında, İvrindi flotasyon tesisi öğütme devresine beslenen cevher örneği üzerinde, laboratuvar ölçekte testler yapılarak, kompleks yapıları sülfürlü cevherin öğütme boyutuna ilişkin veriler üretilmiştir. Laboratuvar tipi bir öğütme sonrasında elde edilen verilerden yararlanılarak, tesis ölçeğinde cevherin öğütülme karakteristiğinin belirlenmesi açısından bir değerlendirme yapma olanağı yaratmaktadır.

Laboratuvar ölçekte değişik sürelerde yapılan öğütme testleri sırasında, aral öğütme sürelerinde cevheri oluşturan kıymetli metal ve gang minerallerinin fraksiyonel olarak ince boyutlara geçişleri mikroskop gözlemleriyle de değerlendirilmiştir. Öğütme işlemlerinin belirli bir süresi sonunda kıymetli mineraller ile gang mineralleri arasında belli oranlarda serbestleşmenin sağlanabildiği, ancak aynı süre içinde kıymetli mineraller arası serbestleşmenin henüz yeterli düzeyde olmadığı gözlenmiştir. Kıymetli mineraller arası yeterli serbestleşme sağlamak üzere öğütme süresinin uzatılması sırasında ise özellikle galen'in yapısal özelliği nedeniyle çok ince boyutlara hızla bir artış olmaktadır. Bu veriler dikkate alındığında; özellikle birden fazla kıymetli minerali kapsayan baz metal cevherlerinin öğütme optimizasyonunda gerek kıymetli mineral-gang ve gerekse farklı kıymetli mineraller arasındaki serbestleşme derecelerinin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma sonuçlarıyla, laboratuvar ölçekte belirlenmiş öğütme karakteristiklerinin tesis ölçeğinde değerlendirilmesi sonucu mevcut tesis öğütme verilerinde önemli bir iyileştirme sağlanabileceği düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu araştırma kapsamında; ulaşılan sonuçlar maddeler halinde aşağıda sıralanmaktadır.

- 1) İvrindi cevherine ait standart Bond İş İndeksi değeri 15,53 kWh/st olarak hesaplanmıştır. Uygulamada yaş öğütme için bu değer 11,95 kWh/st dolayında olacaktır.
- 2) Tesiste öğütme devresine beslenen tüvenan cevherden alınan temsili örnekler üzerinde, laboratuvar ölçekte farklı sürelerde öğütme ve takiben standart flotasyon deneyleri sonunda atılan flotasyon artıkları açısından bir değerlendirme yapıldığında;
  - a) 15 dakikalık öğütme + flotasyon sonucunda atılan artığın Pb, Cu ve Zn içeriklerinin sırasıyla; % 0,6 Pb, % < 0,01 Cu ve % 1,25 Zn olduğu,
  - b) 30 dakikalık öğütme + flotasyon sonucunda atılan artığın, Pb, Cu ve Zn içeriklerinin sırasıyla; % 0,63 Pb, % 0,1 Cu ve % 1,06 Zn olduğu,
  - c) 45 dakikalık öğütme + flotasyon sonucunda atılan artığın, Pb, Cu ve Zn içeriklerinin ise sırasıyla; % 0,82 Pb, % 0,1 Cu ve % 1,31 Zn olduğu bulunmuştur.
- 3) Farklı öğütme süreleri sonrası yapılan flotasyon deneyleri sonuçlarına göre, atılan artığın metal içerikleri açısından uygun bir öğütmenin 15 ile 30 dakikalık süreler arasında bir noktada olduğu öngörülmüş, bu amaçla 22,5 dakikalık bir öğütme ve takiben flotasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yapılan deney sonuçlarına göre; atılan artığın sırasıyla ; % 0,35 Pb, % 0,16 Cu ve % 0,85 Zn içerdiği belirlenmiştir.
- 4) Laboratuvar ölçekte 22.5 dakikalık öğütme süresinde elde edilen verilerden hareketle, şlamın engellenmesi amacıyla yönelik olarak, kademeli bir öğütme planlanmış, ve tesis koşullarında % 90'ı 100 mikron altına öğütme koşulunu gerçekleyecek bir öğütme yapılmıştır. Bu çalışmada, malzemenin % 90'ının 100 mikron altına 17.5 dakikalık kademeli bir öğütme ile alınabileceği belirlenmiştir. Bu sürede yapılan kademeli öğütme sonunda ise; atılan artığın metal içeriklerinin sırasıyla % 0,13 Pb, % 0,04 Cu ve % 0,92 Zn dolayında olacağı saptanmıştır.
- 5) Laboratuvar ölçekte elde edilen öğütme karakteristiğine uygun olarak, tesis öğütme devresinin optimizasyonuna yönelik bir iyileştirme ile, öğütme süresinde yaklaşık % 20'lik bir azalma olabileceği öngörülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu proje çalışması ve paralelinde gerçekleştirilen bitirme ödevi kapsamında, projenin finansmanı ve üniversite-sanayi işbirliğinin güzel bir örneğiyle

destekler için Gesom Madencilik Sanayi ve Tic.A.Ş yönetimi ile tesis sorumlusu Atıf Okatan ve tüm tesis çalışanlarına yazarlar olarak samimi teşekkürlerimizi sunarız.

## SUMMARY

İvrindi flotation plant with a capacity of 150 tons per day is take place at İvrindi which is 35 km far from downtown of Balıkesir. Flotation plant input raw material, however, is produced at Yenice which is 90 km far from İvrindi district. Run-of-mine ore fed to the flotation plant contains galena, sphalerite and chalcopryrite as main minerals while pyrite, quartz and calcite are main gangue fractions. According to the chemical analyses, the ore sample contains 7,16% Pb, 1,17% Cu, 4,28% Zn as well as 47,85% SiO<sub>2</sub> and % 39,54 CaO + MgO + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

In the plant currently, raw material is crushed to the minus 15 mm by using two step crushing unit, then fed to the ball mill. Grinding size of material is around minus 90 – 100 microns controlling by spiral classifier. Ground material is then, fed to the flotation cells via conditioning tank. At the first step of flotation operation, galena and copper bulk concentrates are gained while sphalerite and gangue minerals are depressed. In the zinc circuit, selective sphalerite concentrates are obtained at elevated pH while pyrite and gangue minerals are depressed. Selective copper concentrates, finally, are floated by depressing galena. Lime, Na-silicate, zinc sulfate, cyanide, copper sulfate and di-chromate are used as control reagents and aerophine 3418-A, A-242 and xhantates are the main collector agents in various steps.

In the field observations; it was determined that liberation size differences between base metals and gangue minerals were varied. Therefore, investigation was started to solve the problems which are related to the liberation size of above mentioned minerals. The grinding size in the plant was slightly over 120 microns which is an acceptable liberation degree between base metals and gangue minerals. In this case, however, un-liberated particles for valuable minerals were commonly observed and selectivity of concentrates was poor. On the other hand, mineral losses in the slime fraction were pronounced in the case of grinding size was decreased. Furthermore, a silver loss depending on galena was also increased in the second case. These contributions involve strict grinding time optimization in the plant. So it was decided that grinding characteristics and time optimization process of İvrindi run-of-mine ores would be developed based on lab scale investigation. Therefore actual plant grinding conditions can be able to optimize in the light of lab scale test results.

In this research, optimum grinding time was examined based on valuable metal grades which are produced from flotation steps. Laboratory scale

grindings following flotation tests were carried out to determine optimum liberation size of valuable minerals. Laboratory scale bench grinding time was chosen between 15 and 45 minutes. Bulk flotation was realized on ground materials based on standard parameters. Optimum results were evaluated in terms of metal constitutes of flotation tailings. Optimal grinding time was obtained at the end of 22.5 minutes, while 17.5 minutes can provide same results applying close grinding circuit. According to the lab scale grinding parameters, 20% grinding time saving can be achieved comparing with plant data. Furthermore significant energy saving in the grinding operation and capacity increases can be obtained due to the optimization of grinding – classification circuit in the plant.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Atak, S., 1981**, Flotasyon, İlkeleri ve Uygulamaları, İTÜ Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul.  
**Başer, E., 2003**, İvrindi Flotasyon Tesisi, Cevherinin Öğütme Süresinin Optimizasyonu, İTÜ Maden

Fakültesi, Cevher Haz. A.B.Dalı, Lisans Tezi, Haziran, İstanbul.

- Güney, A., 1998**, Türkiye Çinko Envanteri, İMİB Yayınları, İstanbul, 1998  
**Güney, A., Yüce, A.E., Sirkeci, A.A., 2001**, Kurşun-Çinko Kadmiyum Çalışma Grubu, DPT, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.  
**Gül, A., 2001**, Küre Disemine Bakır Cevherinin Ön Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enst., İstanbul.  
**Kaya, M., 1991**, Flotasyon El Kitabı, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.  
**Sirkeci, A.A., 1998**, Türkiye Bakır Envanteri, İMİB Yayınları, İstanbul.  
**Türkiye Kurşun-Çinko Envanteri, 1993**, M.T.A Yayınları, No: 199, Ankara.  
**Yüce, A.E., 1998**, Türkiye Kurşun Envanteri, İMİB Yayınları, İstanbul.  
**Yüce, A.E., Önal, G., 2002**, Doğu Karadeniz Bölgesi Baz Metal Kaynaklarının Ekonomiye Katkısı ve Madencilik Açısından Önemi, Gümüşhane ve Yöresinin Kalkınması Sempozyumu, Ed: A.Durmuş, s: 441, Ekim, Gümüşhane.

**Yayına Geliş - Received** : 11.07.2005

**Yayına Kabul - Accepted** : 31.10.2005